35 | 瞧一瞧Linux：虚拟文件系统如何管理文件？

2021-07-28 LMOS

《操作系统实战45讲》 课程介绍 >

讲述：陈晨
时长 14:30 大小 13.29M

你好，我是 LMOS。

在前面的课程中，我们已经实现了 Cosmos 下的文件系统 rfs，相信你已经感受到了一个文件系统是如何管理文件的。今天我们一起来瞧一瞧 Linux 是如何管理文件，也验证一下 Linux 那句口号：一切皆为文件。

为此，我们需要首先搞清楚什么是 VFS，接着理清为了实现 VFS 所用到的数据结构，然后看看一个文件的打开、读写、关闭的过程，最后我们还要亲自动手实践，在 VFS 下实现一个“小”且“能跑”的文件系统。

下面让我们开始吧！这节课的配套代码，你可以从这里下载。

什么是 VFS

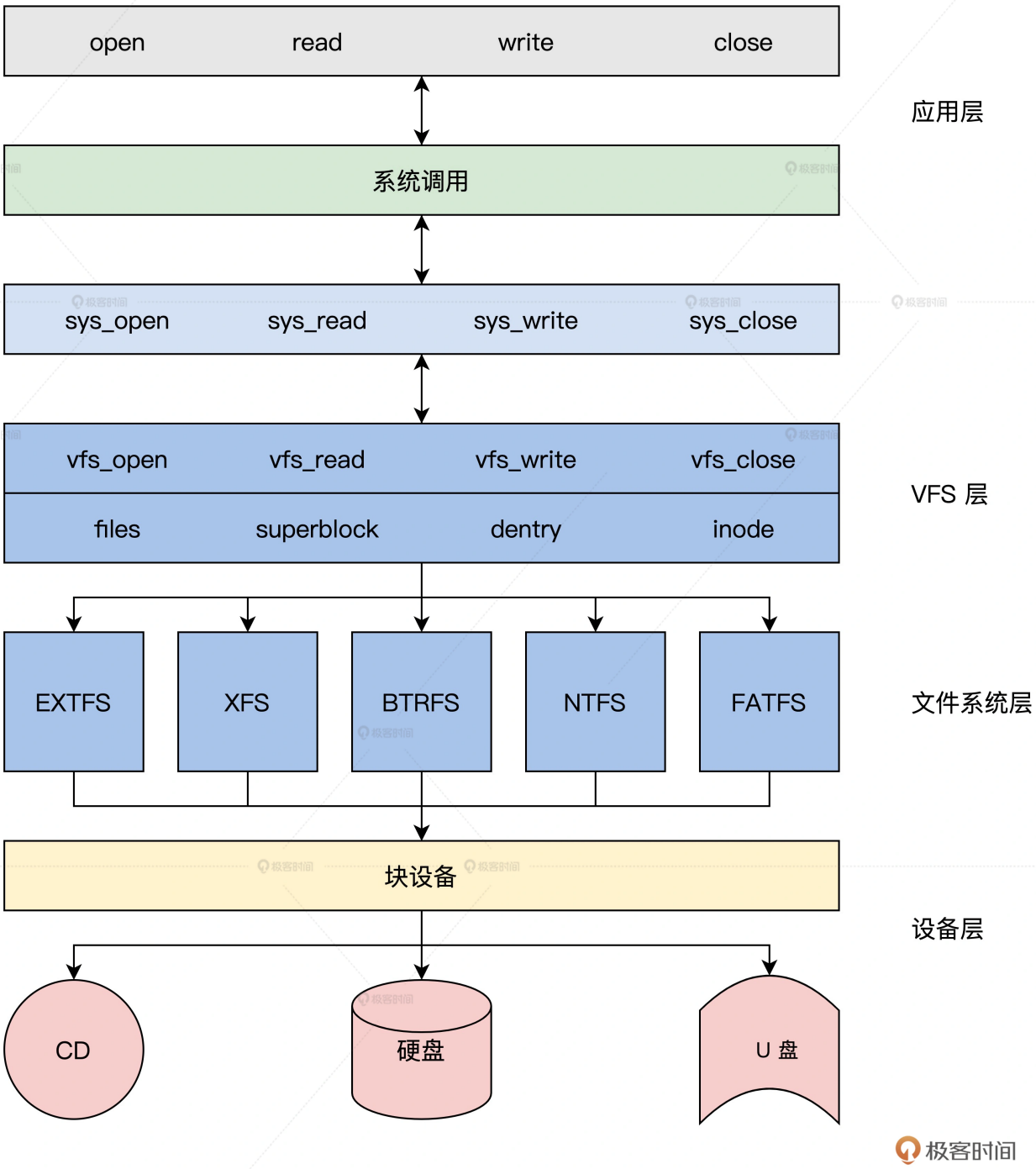
VFS（Virtual Filesystem）就像伙伴系统、SLAB 内存管理算法一样，也是 SUN 公司最早在 Sloaris 上实现的虚拟文件系统，也可以理解为通用文件系统抽象层。Linux 又一次“白嫖”了 Sun 公司的技术。

在 Linux 中，支持 EXT、XFS、JFS、BTRFS、FAT、NTFS 等多达十几种不同的文件系统，但不管在什么储存设备上使用什么文件系统，也不管访问什么文件，都可以统一地使用一套 open(), read()、write()、close() 这样的接口。

这些接口看上去都很简单，但要基于不同的存储设备设计，还要适应不同的文件系统，这并不容易。这就得靠优秀的 VFS 了，它提供了一个抽象层，让不同的文件系统表现出一致的行为。

对于用户空间和内核空间的其他部分，这些文件系统看起来都是一样的：文件都有目录，都支持建立、打开，读写、关闭和删除操作，不用关注不同文件系统的细节。

我来给你画张图，你一看就明白了。



VFS架构图

你有没有发现，在计算机科学领域的很多问题，都可以通过**增加一个中间的抽象层**来解决，上图中 Linux 的 VFS 层就是应用和许多文件系统之间的抽象层。VFS 向上对应用提供了操作文件的标准接口，向下规范了一个文件系统要接入 VFS 必需要实现的机制。

后面我们就会看到，VFS 提供一系列数据结构和具体文件系统应该实现的回调函数。这样，一个文件系统就可以被安装到 VFS 中了。操作具体文件时，VFS 会根据需要调用具体文件系统的函数。从此文件系统的细节就被 VFS 屏蔽了，应用程序只需要调用标准的接口就行了。

VFS 数据结构

VFS 为了屏蔽各个文件系统的差异，就必须要定义一组通用的数据结构，规范各个文件系统的实现，**每种结构都对应一套回调函数集合**，这是典型的**面向对象的设计方法**。

这些数据结构包含描述文件系统信息的超级块、表示文件名称的目录结构、描述文件自身信息的索引节点结构、表示打开一个文件的实例结构。下面我们依次探讨这些结构。

超级块结构

首先我们来看一看超级块结构，这个结构用于一个具体文件系统的相关信息，其中包含了 VFS 规定的标准信息，也有具体文件系统的特有信息，Linux 系统中的超级块结构是一个文件系统安装在 VFS 中的标识。我们来看看代码，如下所示。

复制代码

```
struct super_block {
    struct list_head    s_list; //超级块链表
    dev_t           s_dev;      //设备标识
    unsigned char       s_blocksize_bits;//以位为单位的块大小
    unsigned long       s_blocksize;//以字节为单位的块大小
    loff_t          s_maxbytes; //一个文件最大多少字节
    struct file_system_type *s_type; //文件系统类型
    const struct super_operations   *s_op;//超级块函数集合
    const struct dquot_operations   *dq_op;//磁盘限额函数集合
    unsigned long       s_flags;//挂载标志
    unsigned long       s_magic;//文件系统魔数
    struct dentry       *s_root;//挂载目录
    struct rw_semaphore s_umount;//卸载信号量
    int         s_count;//引用计数
    atomic_t        s_active;//活动计数
    struct block_device *s_bdev;//块设备
    void            *s_fs_info;//文件系统信息
    time64_t            s_time_min;//最小时间限制
    time64_t            s_time_max;//最大时间限制
    char            s_id[32];   //标识名称
    uuid_t          s_uuid;     //文件系统的UUID
    struct list_lru     s_dentry_lru;//LRU方式挂载的目录
    struct list_lru     s_inode_lru;//LRU方式挂载的索引结点
    struct mutex        s_sync_lock;//同步锁
    struct list_head    s_inodes;   //所有的索引节点
    spinlock_t      s_inode_wblist_lock;//回写索引节点的锁
    struct list_head    s_inodes_wb;    //挂载所有要回写的索引节点
} __randomize_layout;
```

上述代码中我删除了我们现在不用关注的代码，在文件系统被挂载到 VFS 的某个目录下时，VFS 会调用获取文件系统自己的超级块的函数，用具体文件系统的信息构造一个上述结构的实例，有了这个结构实例，VFS 就能感知到一个文件系统插入了。

下面我们来看看超级块函数集合。

复制代码

```
struct super_operations {
    //分配一个新的索引结点结构
    struct inode *(*alloc_inode)(struct super_block *sb);
    //销毁给定的索引节点
    void (*destroy_inode)(struct inode *);
    //释放给定的索引节点
    void (*free_inode)(struct inode *);
    //VFS在索引节点为脏(改变)时，会调用此函数
    void (*dirty_inode) (struct inode *, int flags);
    //该函数用于将给定的索引节点写入磁盘
    int (*write_inode) (struct inode *, struct writeback_control *wbc);
    //在最后一个指向索引节点的引用被释放后，VFS会调用该函数
    int (*drop_inode) (struct inode *);
    void (*evict_inode) (struct inode *);
    //减少超级块计数调用
    void (*put_super) (struct super_block *);
    //同步文件系统调用
    int (*sync_fs)(struct super_block *sb, int wait);
    //释放超级块调用
    int (*freeze_super) (struct super_block *);
    //释放文件系统调用
    int (*freeze_fs) (struct super_block *);
    int (*thaw_super) (struct super_block *);
    int (*unfreeze_fs) (struct super_block *);
    //VFS通过调用该函数，获取文件系统状态
    int (*statfs) (struct dentry *, struct kstatfs *);
    //当指定新的安装选项重新安装文件系统时，VFS会调用此函数
    int (*remount_fs) (struct super_block *, int *, char *);
    //VFS调用该函数中断安装操作。该函数被网络文件系统使用，如NFS
    void (*umount_begin) (struct super_block *);
};
```

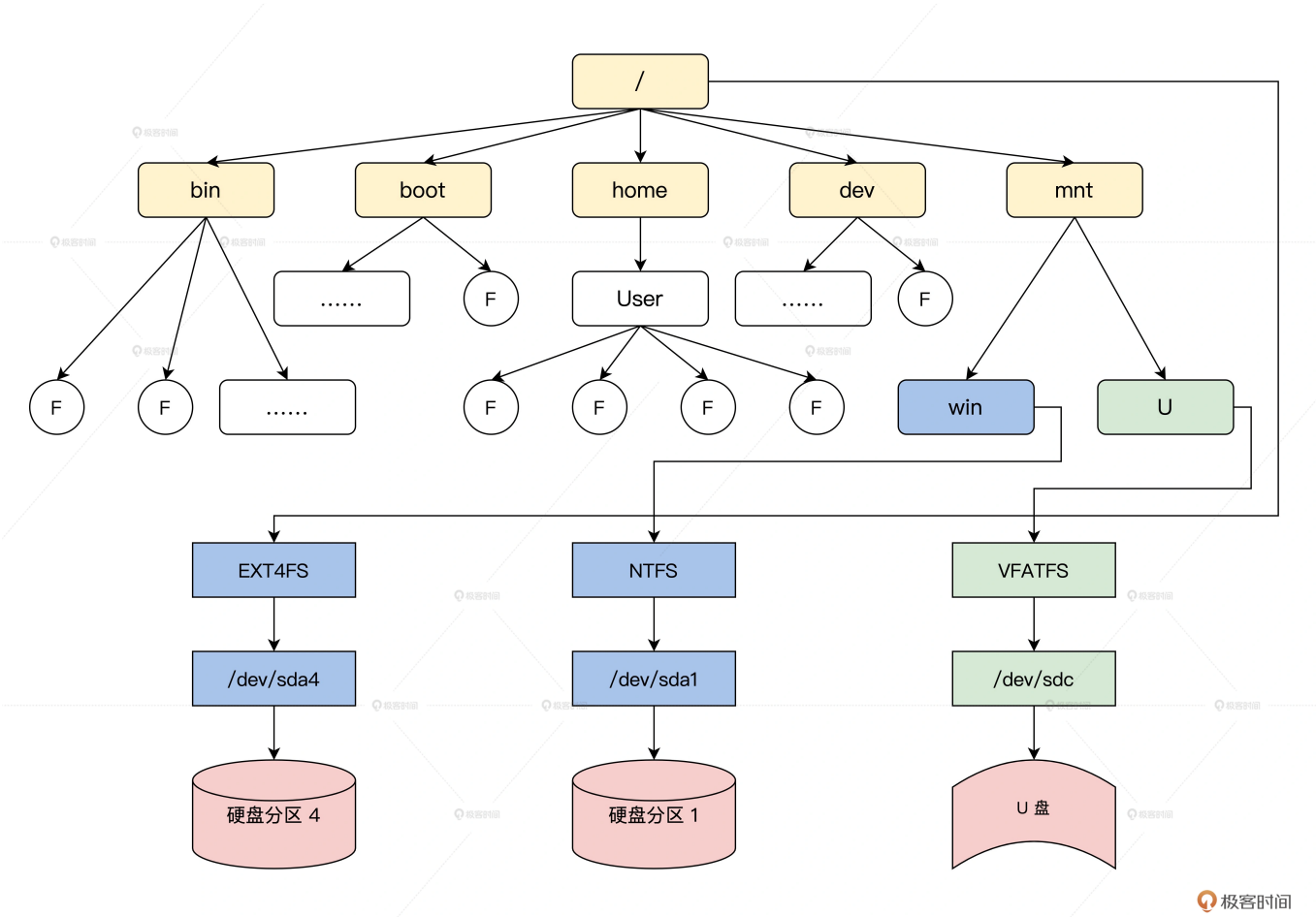
上述代码中 super_operations 结构中所有函数指针所指向的函数，都应该要由一个具体文件系统实现。

有了超级块和超级块函数集合结构，VFS 就能让一个文件系统的信息和表示变得规范了。也就是说，文件系统只要实现了 super_block 和 super_operations 两个结构，就可以插

入到 VFS 中了。但是，这样的文件系统没有任何实质性的功能，我们接着往下看。

目录结构

Linux 系统中所有文件都是用目录组织的，就连具体的文件系统也是挂载到某个目录下的。Linux 系统的目录结构逻辑示意图，如下所示。



Linux目录结构

上图中显示了 Linux 文件目录情况，也显示了一个设备上的文件系统是如何挂载到某个目录下的。那么 VFS 用什么来表示一个目录呢？我们来看看代码，如下所示。

复制代码

```
//快速字符串保存关于字符串的 "元数据"（即长度和哈希值）
struct qstr {
    union {
        struct {
            HASH_LEN_DECLARE;
        };
        u64 hash_len;
    };
    const unsigned char *name;//指向名称字符串
```

```
};
struct dentry {
    unsigned int d_flags;        //目录标志
    seqcount_spinlock_t d_seq;   //锁
    struct hlist_bl_node d_hash;//目录的哈希链表
    struct dentry *d_parent;     //指向父目录
    struct qstr d_name;          //目录名称
    struct inode *d_inode;       //指向目录文件的索引节点
    unsigned char d_iname[DNAME_INLINE_LEN];     //短目录名
    struct lockref d_lockref;    //目录锁与计数
    const struct dentry_operations *d_op;//目录的函数集
    struct super_block *d_sb;    //指向超级块
    unsigned long d_time;        //时间
    void *d_fsdata;          //指向具体文件系统的数据
    union {
        struct list_head d_lru;      //LRU链表
        wait_queue_head_t *d_wait;
    };
    struct list_head d_child;    //挂入父目录的链表节点
    struct list_head d_subdirs; //挂载所有子目录的链表
}   randomize_layout;
```

我们可以发现，dentry 结构中包含了目录的名字和挂载子目录的链表，同时也能指向父目录。但是需要注意的是，**目录也是文件，需要用 inode 索引结构来管理目录文件数据**。

这个目录文件数据，你可以把它想象成一个表，表有三列，它们分别是：名称、类型（文件或者目录）、inode 号。扫描这个表，就可以找出这个目录文件中包含的所有子目录或者文件。

接着我们来看看目录函数集, 如下所示。

复制代码

```
struct dentry_operations {
    //该函数判断目录对象是否有效
    int (*d_revalidate)(struct dentry *, unsigned int);
    int (*d_weak_revalidate)(struct dentry *, unsigned int);
    //该函数为目录项生成散列值，当目录项要加入散列表中时，VFS调用该函数
    int (*d_hash)(const struct dentry *, struct qstr *);
    //VFS调用该函数来比较name1和name2两个文件名。多数文件系统使用VFS的默认操作，仅做字符
    int (*d_compare)(const struct dentry *,
            unsigned int, const char *, const struct qstr *);
    //当目录项对象的计数值等于0时，VFS调用该函数
    int (*d_delete)(const struct dentry *);
    //当分配目录时调用
    int (*d_init)(struct dentry *);
    //当目录项对象要被释放时，VFS调用该函数，默认情况下，它什么也不做
```

```
    void (*d_release)(struct dentry *);
    void (*d_prune)(struct dentry *);
    //当一个目录项对象丢失了相关索引节点时，VFS调用该函数。默认情况下VFS会调用iput()函数释
    void (*d_iput)(struct dentry *, struct inode *);
    //当需要生成一个dentry的路径名时被调用
    char *(*d_dname)(struct dentry *, char *, int);
    //当要遍历一个自动挂载时被调用（可选），这应该创建一个新的VFS挂载记录并将该记录返回给调
    struct vfsmount *(*d_automount)(struct path *);
    //文件系统管理从dentry的过渡（可选）时，被调用
    int (*d_manage)(const struct path *, bool);
    //叠加/联合类型的文件系统实现此方法
    struct dentry *(*d_real)(struct dentry *, const struct inode *);
} ____cacheline_aligned;
```

dentry_operations 结构中的函数，也需要具体文件系统实现，下层代码查找或者操作目录时 VFS 就会调用这些函数，让具体文件系统根据自己储存设备上的目录信息处理并设置 dentry 结构中的信息，这样文件系统中的目录就和 VFS 的目录对应了。

现在我们已经解决了目录，下面我们就去看看 VFS 怎么实现表示文件。

文件索引结点

VFS 用 inode 结构表示一个文件索引结点，它里面包含文件权限、文件所属用户、文件访问和修改时间、文件数据块号等一个文件的全部信息，一个 inode 结构就对应一个文件，代码如下所示。

复制代码

```
struct inode {
    umode_t         i_mode;//文件访问权限
    unsigned short      i_opflags;//打开文件时的标志
    kuid_t          i_uid;//文件所属的用户id
    kgid_t          i_gid;//文件所属的用户组id
    unsigned int        i_flags;//标志
    const struct inode_operations   *i_op;//inode函数集
    struct super_block  *i_sb;//指向所属超级块
    struct address_space    *i_mapping;//文件数据在内存中的页缓存
    unsigned long       i_ino;//inode号
    dev_t           i_rdev;//实际设备标志符
    loff_t          i_size;//文件大小，以字节为单位
    struct timespec64   i_atime;//文件访问时间
    struct timespec64   i_mtime;//文件修改时间
    struct timespec64   i_ctime;//最后修改时间
    spinlock_t      i_lock; //保护inode的自旋锁
    unsigned short          i_bytes;//使用的字节数
```

```
    u8          i_blkbits;//以位为单位的块大小；
    u8          i_write_hint;
    blkcnt_t        i_blocks;
    struct list_head    i_io_list;
    struct list_head    i_lru;      //在缓存LRU中的链表节点
    struct list_head    i_sb_list;//在超级块中中的链表节点
    struct list_head    i_wb_list;
    atomic64_t      i_version;//版本号
    atomic64_t      i_sequence;
    atomic_t        i_count;//计数
    atomic_t        i_dio_count;//直接io进程计数
    atomic_t        i_writecount;//写进程计数
    union {
        const struct file_operations    *i_fop;//文件函数集合
        void (*free_inode)(struct inode *);
    };
    struct file_lock_context    *i_flctx;
    struct address_space    i_data;
    void            *i_private; //私有数据指针
} __randomize_layout;

```

inode 结构表示一个文件的全部信息，但这个 inode 结构是 VFS 使用的，跟某个具体文件系统上的“inode”结构并不是一一对应关系。

所以，inode 结构还有一套函数集合，用于具体文件系统根据自己特有的信息，构造出 VFS 使用的 inode 结构，这套函数集合如下所示。

复制代码

```
struct inode_operations {
    //VFS通过系统create()和open()接口来调用该函数，从而为dentry对象创建一个新的索引节点
    int (*create) (struct inode *, struct dentry *,int);
    //该函数在特定目录中寻找索引节点，该索引节点要对应于dentry中给出的文件名
    struct dentry * (*lookup) (struct inode *, struct dentry *);
    //被系统link()接口调用，用来创建硬连接。硬链接名称由dentry参数指定
    int (*link) (struct dentry *, struct inode *, struct dentry *);
    //被系统unlink()接口调用，删除由目录项dentry链接的索引节点对象
    int (*unlink) (struct inode *, struct dentry *);
    //被系统symlik()接口调用，创建符号连接，该符号连接名称由symname指定，连接对象是dir目录
    int (*symlink) (struct inode *, struct dentry *, const char *);
    //被mkdir()接口调用，创建一个新目录。
    int (*mkdir) (struct inode *, struct dentry *, int);
    //被rmdir()接口调用，删除dentry目录项代表的文件
    int (*rmdir) (struct inode *, struct dentry *);
    //被mknod()接口调用，创建特殊文件(设备文件、命名管道或套接字)。
    int (*mknod) (struct inode *, struct dentry *, int, dev_t);
    //VFS调用该函数来移动文件。文件源路径在old_dir目录中，源文件由old_dentry目录项所指定
```

```
    int (*rename) (struct inode *, struct dentry *, struct inode *, struct den
    //被系统readlink()接口调用，拷贝数据到特定的缓冲buffer中。拷贝的数据来自dentry指定的
    int (*readlink) (struct dentry *, char *, int);
    //被VFS调用，从一个符号连接查找他指向的索引节点
    int (*follow_link) (struct dentry *, struct nameidata *);
    //在follow_link()调用之后，该函数由vfs调用进行清除工作
    int (*put_link) (struct dentry *, struct nameidata *);
    //被VFS调用，修改文件的大小，在调用之前，索引节点的i_size项必须被设置成预期的大小
    void (*truncate) (struct inode *);
    //该函数用来检查给定的inode所代表的文件是否允许特定的访问模式，如果允许特定的访问模式，
    int (*permission) (struct inode *, int);
    //被notify_change接口调用，在修改索引节点之后，通知发生了改变事件
    int (*setattr) (struct dentry *, struct iattr *);
    //在通知索引节点需要从磁盘中更新时，VFS会调用该函数
    int (*getattr) (struct vfsmount *, struct dentry *, struct kstat *);
    //被VFS调用，向dentry指定的文件设置扩展属性
    int (*setxattr) (struct dentry *, const char *, const void *, size_t, int)
    //被VFS调用，拷贝给定文件的扩展属性name对应的数值
    ssize_t (*getxattr) (struct dentry *, const char *, void *, size_t);
    //该函数将特定文件所有属性列表拷贝到一个缓冲列表中
    ssize_t (*listxattr) (struct dentry *, char *, size_t);
    //该函数从给定文件中删除指定的属性
    int (*removexattr) (struct dentry *, const char *);
};
```

上述代码中删除了一些我们不用关心的接口，VFS 通过定义 inode 结构和函数集合，并让具体文件系统实现这些函数，使得 VFS 及其上层只要关注 inode 结构，底层的具体文件系统根据自己的文件信息生成相应的 inode 结构，达到了 VFS 表示一个文件的目的。

下面我们再看一个实例，进一步理解 VFS 如何表示一个打开的文件。

打开的文件

如何表示应用进程打开的不同文件呢？ VFS 设计了一个文件对象结构解决这个问题，文件对象结构表示进程已打开的文件。

如果我们站在应用程序的角度思考，文件对象结构会首先进入我们的视野。应用程序直接处理的就是文件，而不是超级块、索引节点或目录项。文件对象结构包含了我们非常熟悉的信息，如访问模式、当前读写偏移等。我们来看代码，如下所示。

复制代码

```
struct file {
    union {
        struct llist_node   fu_llist;
```

```
        struct rcu_head     fu_rcuhead;
    } f_u;
    struct path     f_path; //文件路径
    struct inode        *f_inode;   //文件对应的inode
    const struct file_operations    *f_op;//文件函数集合
    spinlock_t      f_lock;   //自旋锁
    enum rw_hint        f_write_hint;
    atomic_long_t       f_count;//文件对象计数据。
    unsigned int        f_flags;//文件标志
    fmode_t         f_mode;//文件权限
    struct mutex        f_pos_lock;//文件读写位置锁
    loff_t          f_pos;//进程读写文件的当前位置
    u64         f_version;//文件版本
    void            *private_data;//私有数据
} __randomize_layout
```

在进程结构中有个文件表，那个表其实就是 **file 结构的指针数组**，进程每打开一个文件就会建立一个 file 结构实例，并将其地址放入数组中，最后返回对应的数组下标，就是我们调用 open 函数返回的那个整数。

对于 file 结构，也有对应的函数集合 file_operations 结构，下面我们再次看看它，如下所示。

复制代码

```
struct file_operations {
    struct module *owner;//所在的模块
    loff_t (*llseek) (struct file *, loff_t, int);//调整读写偏移
    ssize_t (*read) (struct file *, char __user *, size_t, loff_t *);//读
    ssize_t (*write) (struct file *, const char __user *, size_t, loff_t *);//
    int (*mmap) (struct file *, struct vm_area_struct *);//映射
    int (*open) (struct inode *, struct file *);//打开
    int (*flush) (struct file *, fl_owner_t id);//刷新
    int (*release) (struct inode *, struct file *);//关闭
} __randomize_layout;
```

file_operations 结构中的函数指针有 31 个，这里我删除了我们不需要关注的函数指针，这些函数依然需要具体文件系统来实现，由 VFS 层来调用。

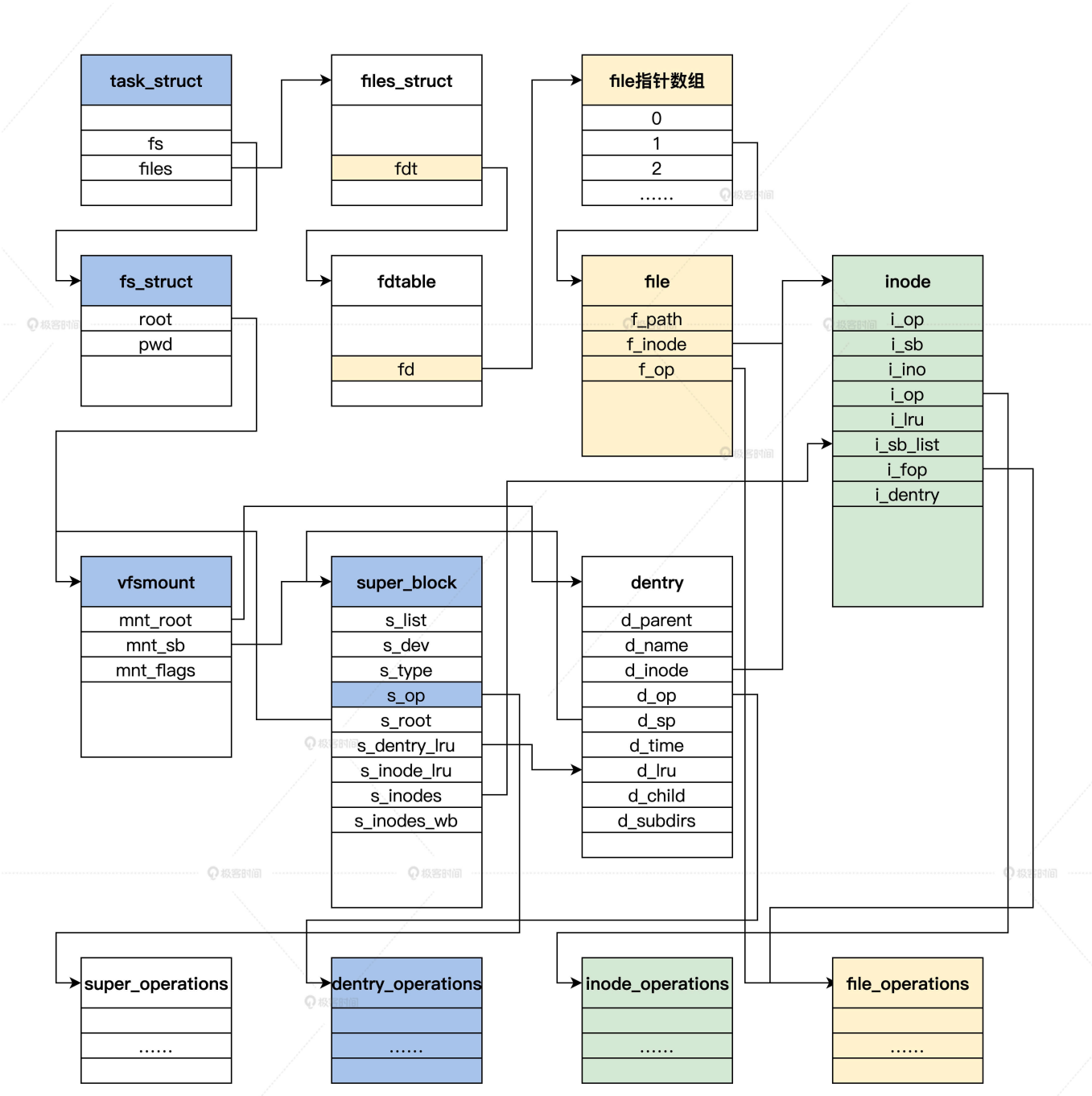
到此为止，有超级块、目录结构、文件索引节点，打开文件的实例，通过四大对象就可以描述抽象出一个文件系统了。而四大对象的对应的操作函数集合，又由具体的文件系统来实现，这两个一结合，一个文件系统的状态和行为都具备了。

这样一个具体的文件系统，我们就可以安装在 VFS 中运行了。

四大对象结构的关系

我们已经了解构成文件系统的四大对象结构，但是要想完全了解它们的工作机制，还必须要搞清楚，随着 VFS 代码的运行，这些对象结构在内存中的建立和销毁以及它们之间的组织关系。

一图胜千言，我来为你画一幅全景图，你就明白四大对象结构之间的关系了。



VFS对象关系示意图

上图中展示了 spuer_block、dentry、inode、file 四大结构的关系，当然这只是打开一个文件的情况，如果打开了多个文件则相应的结构实例就会增加，不过底层逻辑还是前面图里梳理的这样，万变不离其宗。

搞清楚了四大结构的关系后，我们就可以探索文件相关的操作了。

文件操作

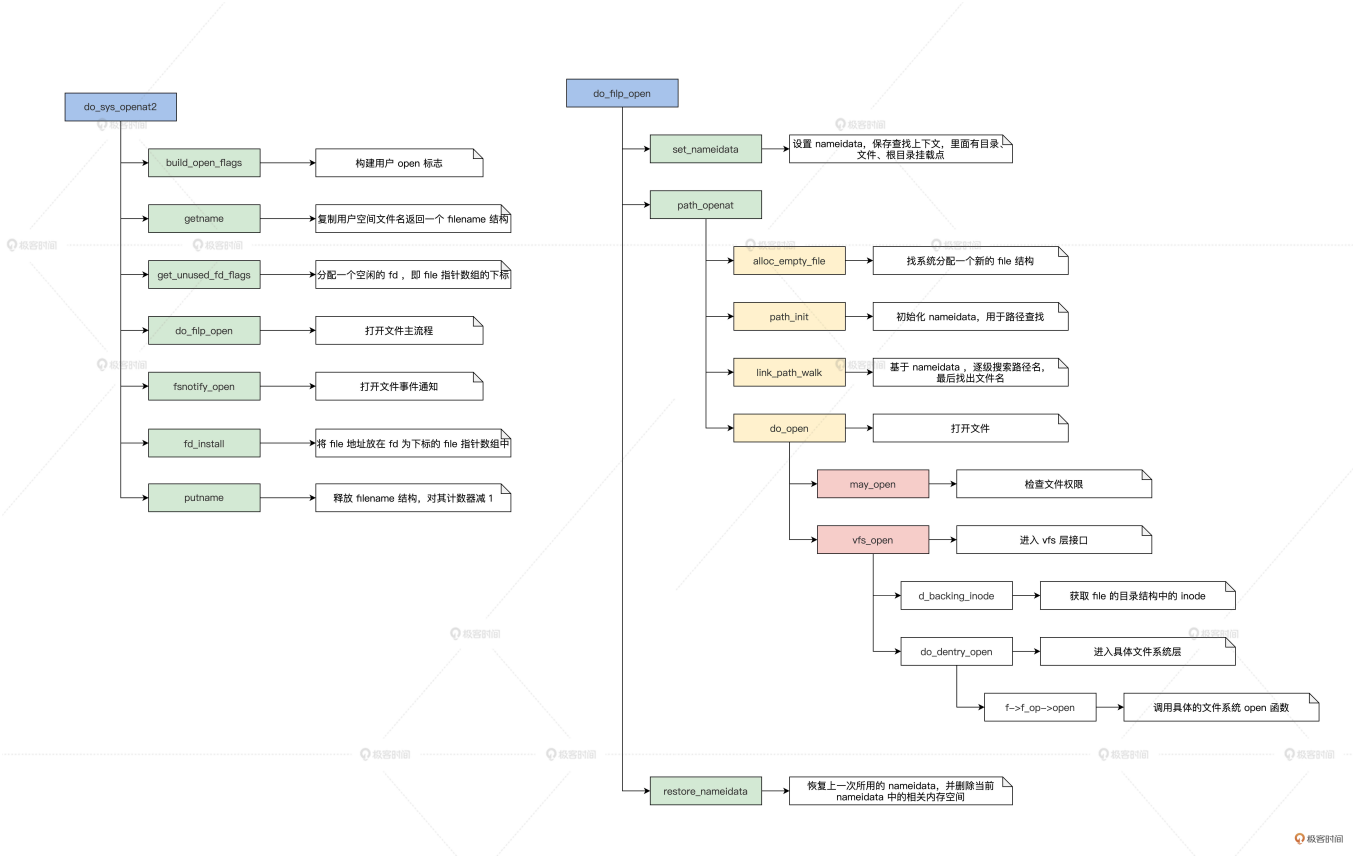
Linux 下常规的文件操作就是打开、读、写、关闭，让我们分别讨论一下这几种文件操作的流程。

打开文件

在对文件进行读写之前，需要先用 open 函数打开这个文件。应用程序使用标准库的 open 函数来打开一个文件。

在 x86_64 架构里，open 函数会执行 syscall 指令，从用户态转换到内核态，并且最终调用到 do_sys_open 函数，然进而调用 do_sys_openat2 函数。

我给你画一幅流程图，你一看就明白了。



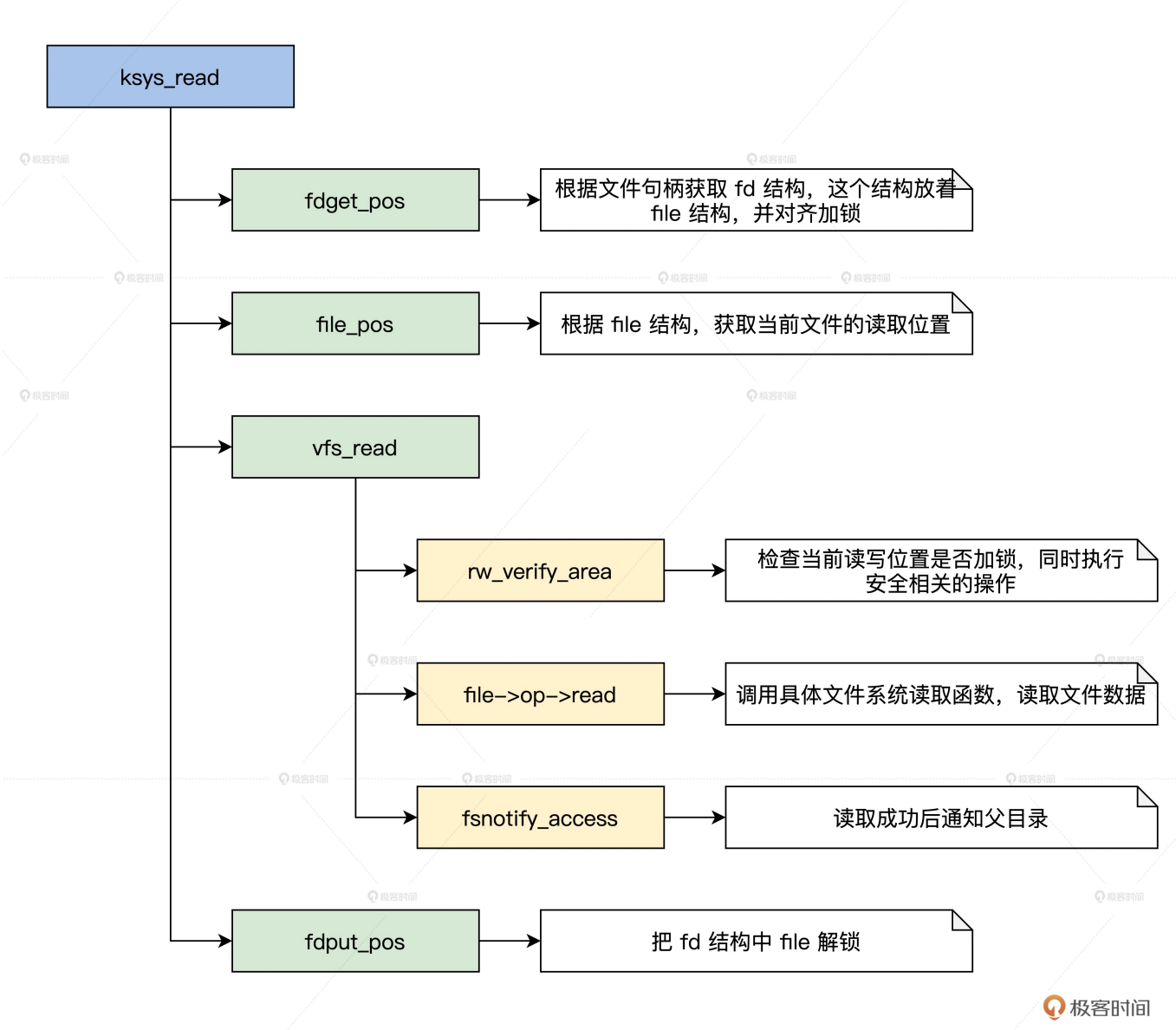
打开文件流程

上图中清楚了展示了从系统调用开始，打开文件的全部主要流程，**file、dentry、inode三个结构**在这个流程中扮演了重要角色。在查找路径和检查权限后，进入了具体文件系统的打开流程。

读写文件

只要打开了一个文件，就可以对文件进行进一步的读写操作了。其实读写本是两个操作，只数据流向不同：读操作是数据从文件经由内核流向进程，而写操作是数据从进程经由内核流向文件。

所以，下面我们以读操作为例，看看读操作的流程，我依然用画图的方式为你展示这一流程，如下所示。



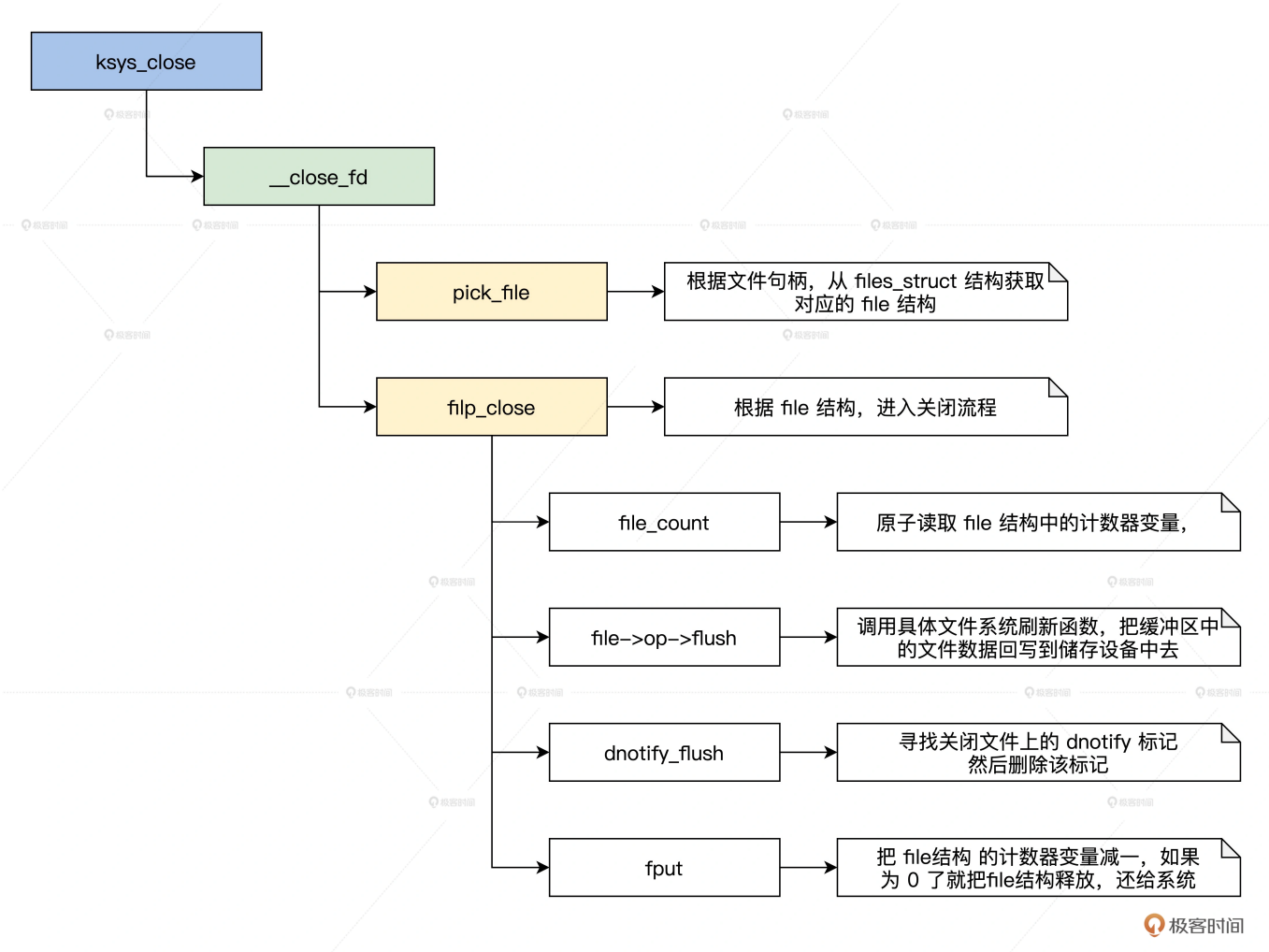
读文件流程示意图

上图中展示了读文件操作的函数调用流程，写文件操作的流程和读文件操作的流程一样，只是数据流向不同，我就不展开了，你可以自己想一下。

关闭文件

我们打开了文件，也对文件进行了读写，然后就到了关闭文件的环节。为什么要关闭文件呢？因为打开文件时分配了很多资源，如 file、dentry、inode，内存缓冲区等，这些资源使用了都要还给系统，如若不然，就会导致资源泄漏。

下面我们就来看看关闭文件的操作流程，我同样用画图的方式为你展示这一流程，如下所示。



关闭文件流程示意图

以上就是关闭一个文件的全部流程。它回收了 file 结构，其中最重要**是调用了文件系统的 flush 函数**，它给了文件系统一个刷新缓冲区，把数据写回储存设备的机会，这样就保证了

储存设备数据的一致性。

文件系统实例

为了进一步加深理解，我为你写了一个 400 行代码左右的最小文件系统，放在本课的目录中，**它就是 trfs，这是一个内存文件系统，支持文件的建立、打开、读写、关闭等操作，通过内存块存放数据。**下面仅对文件系统的注册和使用进行介绍。

注册 trfs

我们先来看看如何注册 trfs 文件系统的。由于我们的文件系统是写在 Linux 内核模块中的，所以我们要在模块初始化函数中注册文件系统 ，Linux 注册文件系统需要一个参数，即文件系统类型结构，它里面放着文件系统名字、文件系统挂载、卸载的回调函数，代码如下所示。

复制代码

```
struct file_system_type trfs_fs_type = {
    .owner = THIS_MODULE,
    .name = "trfs",//文件系统名字
    .mount = trfs_mount,//文件系统挂载函数
    .kill_sb = trfs_kill_superblock,//文件系统卸载函数
};
static int trfs_init(void)
{
    int ret;
    init_fileinfo();//初始化trfs文件系统数据结构
    ret = register_filesystem(&trfs_fs_type);//注册文件系统
    if (ret)
        printk(KERN_EMERG"register trfs failed\n");
    printk(KERN_EMERG"trfs is ok\n");
    return ret;
}
static void trfs_exit(void)
{
    exit_fileinfo();//释放trfs文件系统数据结构
    unregister_filesystem(&trfs_fs_type);//卸载文件系统
}
module_init(trfs_init);
module_exit(trfs_exit);
```

上面的代码只展示了注册文件系统的代码，其它代码在课程相关代码目录下。支持文件打开、读写、关闭操作，能够在内存中保存文件数据。

使用 trfs 文件系统

注册了 trfs 文件系统，这不等于可以使用这个文件系统存取文件了。那么如何使用 trfs 文件系统呢？当然首先是编译 trfs 内核模块代码，在终端中 cd 到对应的目录下执行 make，然后把编译好的内核模块插入到系统中，最后就是将这个文件系统挂载到一个具体的目录下。代码如下。

```
复制代码
1 make                              //编译内核模块
2 sudo insmod trfs.ko               //把内核模块插入到内核
3 sudo mount -t trfs none /mnt/   // 挂载trfs文件系统到mnt目录下
```

有了上述代码，挂载 trfs 到 /mnt 下，我们就可以用 touch 建立一个文件，然后用 cat 读取这个文件了。

好了，关于 trfs 我们就介绍到这里了，trfs 的代码我已经帮你写好了，你可以自己慢慢研究，有什么问题也可以和我交流。

重点回顾

至此，Linux 的虚拟文件系统就告一段落了，同时也标志着我们整个文件系统章节结束了。那么本节课中学了什么呢？我来为你梳理一下。

1.**什么是 VFS**。VFS 是虚拟文件系统，是 Linux 中一个中间层，它抽象了文件系统共有数据结构和操作函数集合。一个具体的文件系统只要实现这些函数集合就可以插入 VFS 中了，也因为 VFS 的存在，使得 Linux 可以同时支持各种不同的文件系统。

2.VFS 的数据结构，为了搞清楚 VFS 的实现原理，我们研究了它的数据结构，分别是表示文件系统的超级块结构、表示文件路径的目录结构、表示文件自身的索引结点结构，还有进程打开的文件实例结构，最后还了解了它们之间的关系。

3. 为了进一步了解 **VFS 和具体文件系统的工作机制**，我们研究了文件的打开、读写、关闭等操作流程，在这些流程我们明白了 VFS 是如何和具体文件系统打通的。

4. 为了弄懂一个具体文件系统是如何安装到 VFS 中的，我们实现了一个小的 trfs 文件系统，trfs 将文件数据保存在内存中， 将 trfs 挂载到 Linux 中某个目录下就可以让一些标准应用进行文件操作了。

你或许还想知道 EXT4 文件系统是如何划分储存设备的，还想知道 EXT4 是如何管理目录和文件索引结点的。那请你以勤奋为舟，遨游在 LInux 代码的海洋中，寻找 EXT4 这座大岛吧。

思考题

请说一说 super_block，dentry，inode 这三个数据结构 ，一定要在储存设备上对应存在吗？

欢迎你在留言区跟我交流互动，也推荐你把这节课分享给朋友一起学习进步。

我是 LMOS，我们下节课见！

分享给需要的人，Ta订阅后你可得 20 元现金奖励

赞 2 提建议

© 版权归极客邦科技所有，未经许可不得传播售卖。 页面已增加防盗追踪，如有侵权极客邦将依法追究其法律责任。

上一篇 34 | 仓库管理：如何实现文件的六大基本操作？

下一篇 36 | 从URL到网卡：如何全局观察网络数据流动？

精选留言 (2)

写留言

pedro 置顶
2021-07-28

请说一说 super_block，dentry，inode 这三个数据结构 ，一定要在储存设备上对应存在吗？

不需要严格对应，之所以要对应是为了使用、维护更加方便，抽象是软件设计最大的魅力。

展开

作者回复: 铁子 正确

4

Fan
2021-07-29

请说一说 super_block，dentry，inode 这三个数据结构 ，一定要在储存设备上对应存在吗？

要的。

作者回复: 不需要 只是需要对应的文件系统代码在内存中构造出相应的结构就行了